

PUB-NO: DE003933956A1

DOCUMENT-IDENTIFIER: DE 3933956 A1

TITLE: Force-cooled power resistor e.g. for railway locomotive
specific converter - is of flat metal sheet of high electrical resistance presenting large cooling area

PUBN-DATE: April 25, 1991

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

BAUMANN, HEINRICH DR ING
ZENGERLE, MANFRED DIPL ING

COUNTRY

DE

DE

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

ASEA BROWN BOVERI

COUNTRY

DE

APPL-NO: DE03933956

APPL-DATE: October 11, 1989

PRIORITY-DATA: DE03933956A (October 11, 1989)

INT-CL (IPC): H01C001/082, H01C003/12 , H05K007/20

EUR-CL (EPC): H01C001/082 ; H01C003/12, H05K007/20

US-CL-CURRENT: 338/280

ABSTRACT:

The power resistor (1), for use in rectifier units for railed vehicles, consists of a flat metallic resistance element with two electrical terminals (3, 4) having holes for connection to external conductors. The resistance element has a zig-zag shape and can be mfd. from a sheet material

with a high
specific resistance. It is connected directly to at least one
electrically
non-conductive liquid coolant body (11), pref. of AIN, with inlet and
outlet
(12, 13) for coolant. ADVANTAGE - Small vol. with high performance.



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 39 33 956 A 1**

⑤1 Int. Cl. 4:
H 01 C 1/082
H 01 C 3/12
H 05 K 7/20
// B23K 26/00

②1 Aktenzeichen: P 39 33 956.4
②2 Anmeldetag: 11. 10. 89
④3 Offenlegungstag: 25. 4. 91

DE 39 33 956 A 1

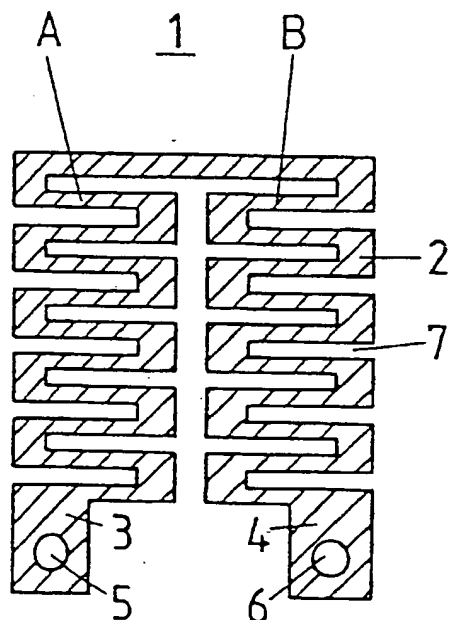
⑦1 Anmelder:
Asea Brown Boveri AG, 6800 Mannheim, DE

⑦2 Erfinder:
Baumann, Heinrich, Dr.-Ing., 7505 Ettlingen, DE;
Zengerle, Manfred, Dipl.-Ing. (FH), 6719 Ebertsheim,
DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Anordnung mit zwangsgekühltem, elektrischem Leistungswiderstand

Bei dieser Anordnung sind mindestens ein elektrischer Leistungswiderstand (1, 8) und mindestens ein für Siede- oder Flüssigkeitskühlung geeigneter Flüssigkeitskühlkörper (11, 111, 112, 113, 17, 18) druckkontaktiert miteinander verbunden. Der Leistungswiderstand besteht aus einem flachen, ebenen, metallischen Widerstandselement (2) mit mindestens zwei elektrischen Anschlüssen (3, 4, 9, 10) und ist aus einem blechförmigen Werkstoff mit einem hohen spezifischen elektrischen Widerstand gebildet. Bei Einsatz eines elektrisch leitenden Flüssigkeitskühlkörpers (17, 18) ist eine elektrisch isolierende, jedoch gut wärmeleitende Zwischenlage (19, 20) zwischen Leistungswiderstand und Kühlkörper angeordnet. Bei Einsatz eines elektrisch nichtleitenden Flüssigkeitskühlkörpers (11, 111, 112, 113) liegt der Leistungswiderstand direkt auf dem Flüssigkeitskühlkörper. Es kann ein Spannverband, bestehend aus Leistungswiderständen, scheibenförmigen Halbleiterzellen (25) und Flüssigkeitskühlkörpern gebildet werden.



DE 39 33 956 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf eine Anordnung mit zwangsgekühltem, elektrischem Leistungswiderstand gemäß dem Oberbegriff der nebengeordneten Ansprüche 1 und 2.

Die Erfindung kann bei Stromrichtergeräten für Fahrzeuge, insbesondere Schienenfahrzeuge, verwendet werden.

Eine solche Anordnung mit zwangsgekühltem, elektrischem Leistungswiderstand ist aus der DE-OS 36 09 195 bekannt. Dort wird ein zwangsgekühlter Drahtwiderstand beschrieben, bei dem die Verlustleistung mittels Siede- oder Flüssigkeitskühlung abgeführt wird, wobei der Widerstand aus einem elektrisch isolierenden, zylindrischen Hohlkörper besteht, auf dessen Innenwand eine Widerstandswicklung angeordnet ist, und ein Kühlmedium das Innere des Hohlkörpers durchfließt.

In vielen Geräten der Leistungselektronik, z. B. Gleichstromstellern oder allgemein Stromrichtern, werden Widerstände eingesetzt, in denen eine hohe Verlustleistung erzeugt wird. Diese Widerstände müssen daher intensiv gekühlt werden. Bei vielen Anwendungen werden derartige Leistungswiderstände im Kühlluftstrom einer Zwangskühlung für die Halbleiterbauelemente des Stromrichters angeordnet. Dies kann aber bei gewissen kritischen Anwendungsgebieten, insbesondere im Bahnbetrieb, Probleme verursachen, da die Widerstände über den Kühlluftstrom mit Feuchtigkeit und Schmutz in Berührung kommen. Aus diesem Grund wird oft gefordert, keine auf hohem elektrischem Potential liegenden Bauelemente im Kühlluftstrom unterzubringen.

Darüberhinaus ist es auf Fahrzeugen oft vorteilhaft, den Kühlluftstrom von den Geräten der Leistungselektronik entfernt zu halten, um eine einfachere Anordnung der großvolumigen Kühlluftführung zu erreichen. In diesem Fall muß zum Wärmetransport von dem zu kühlenden elektrischen Bauteil an die Umgebungsluft ein Zwischenkreis mit einem meist flüssigen Wärmeträger vorgesehen werden. Hierbei muß auch die Verlustwärme von Leistungswiderständen zunächst an ein flüssiges Kühlmedium abgeführt werden. Als Kühlmedium eignet sich neben verschiedenen elektrisch isolierenden Kühlmedien (z. B. Mineralöl oder Silikonflüssigkeiten) insbesondere Wasser, sofern es entionisiert oder in geeigneter Weise von dem zu kühlenden Bauteil elektrisch isoliert gehalten wird.

Außerdem steht z. B. auf Hochleistungstriebfahrzeugen Einbauraum immer nur beschränkt zur Verfügung, so daß die verwendeten Bauteile eine hohe Leistungsdichte und ein geringes Bauvolumen aufweisen müssen, was mit reiner Luftkühlung häufig nicht realisiert werden kann. Für die Kühlung von scheibenförmigen Halbleitern sind Kühlkörper aus elektrisch isolierenden, jedoch gut wärmeleitenden keramischen Werkstoffen vorgeschlagen worden, die die Verwendung von nicht entionisiertem, also elektrisch leitfähigem Wasser als Kühlmittel gestatten.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung mit zwangsgekühltem, elektrischem Leistungswiderstand der eingangs genannten Art anzugeben, die derart ausgebildet ist, daß sie bei kleinem Bauvolumen eine hohe Leistungsdichte ermöglicht.

Diese Aufgabe wird in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffes alternativ durch die im Kennzeichen der Ansprüche 1 und 2 angegebenen Merkmale

gelöst.

Die mit der Erfindung erzielbaren Vorteile bestehen insbesondere darin, daß durch die vorgeschlagene Anordnung mit zwangsgekühltem, elektrischem Leistungswiderstand keine Rücksicht auf den gegebenenfalls Feuchtigkeit und Schmutz enthaltenden Kühlluftstrom genommen werden muß. Der Leistungswiderstand ist getrennt vom Kühlluftstrom angeordnet und ermöglicht eine intensive Kühlung mit Wärmeabfuhr über eine Kühlflüssigkeit. Die vorgeschlagene Anordnung gewährleistet eine hohe Leistungsdichte bei kleinem Bauvolumen, was z. B. beim Einsatz in Hochleistungstriebfahrzeugen von großer Bedeutung ist. Bei Einsatz von elektrisch isolierenden, jedoch gut wärmeleitenden keramischen Werkstoffen für den Flüssigkeitskühlkörper kann vorteilhaft nicht entionisiertes, also elektrisch leitfähiges Wasser zur Kühlung verwendet werden. Da der Leistungswiderstand als flaches, ebenes Bauteil ausgeführt ist, läßt er sich in einfacher Weise zwischen Flüssigkeitskühlkörpern (Kühldosen) anordnen und mit einer vorgebbaren Druckkraft belasten, wie dies bei scheibenförmigen Halbleiterzellen bekannt ist. Auch ein gemeinsamer Spannverband, bestehend aus Halbleiterzellen und Leistungswiderständen, jeweils unter Zwischenschaltung von Flüssigkeitskühlkörpern, ist möglich. Bei Einsatz von elektrisch leitenden (metallinen) Flüssigkeitskühlkörpern muß eine elektrisch isolierende Zwischenlage zwischen Leistungswiderstand und Flüssigkeitskühlkörper vorgesehen werden, um einen elektrischen Kurzschluß des Leistungswiderstandes zu verhindern.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 eine erste Ausführungsform eines Leistungswiderstandes,

Fig. 2 eine zweite Ausführungsform eines Leistungswiderstandes,

Fig. 3 eine aus Leistungswiderstand und elektrisch nichtleitendem Flüssigkeitskühlkörper bestehende Anordnung,

Fig. 4 einen bei der Anordnung nach Fig. 3 verwendeten Flüssigkeitskühlkörper im Schnitt,

Fig. 5 eine aus Leistungswiderstand und elektrisch leitenden Flüssigkeitskühlkörpern bestehende Anordnung,

Fig. 6 einen aus Halbleiterzellen, Leistungswiderständen und Flüssigkeitskühlkörpern bestehenden Spannverband.

In Fig. 1 ist eine erste Ausführungsform eines Leistungswiderstandes dargestellt. Der gezeigte Leistungswiderstand 1 besteht dabei aus einem flachen, metallischen Widerstandselement 2 mit zwei elektrischen Anschlüssen 3 und 4, wobei sich diese Anschlüsse 3, 4 auf derselben Seite des Leistungswiderstandes 1 befinden. Die Anschlüsse 3 und 4 sind mit Bohrungen 5, 6 für die Verbindung mit externen Anschlußleitern oder Anschlußschienen versehen (Schraubanschlüsse). Das Widerstandselement 2 weist infolge zahlreicher Aussparungen 7 eine mäanderförmige Struktur auf und kann beispielsweise aus einem Blech aus einem Werkstoff mit einem hohen spezifischen elektrischen Widerstand — z. B. einer Widerstandslegierung oder einem Edelstahl — durch Stanzen, Ätzen, Laserstrahlschneiden oder andere Fertigungsverfahren hergestellt werden. Wie aus

Fig. 1 zu erkennen ist, kann der Leistungswiderstand 1 beispielsweise aus zwei nebeneinander liegenden, in Reihe geschalteten, jeweils mäanderförmigen Teilwiderständen A und B aufgebaut sein.

In Fig. 2 ist eine zweite Ausführungsform eines Leistungswiderstandes dargestellt. Der gezeigte Leistungswiderstand 8 besteht ebenfalls aus einem flachen, metallischen, mit zahlreichen Aussparungen 7 versehenen Widerstandselement 2. Im Unterschied zur ersten Ausführungsform gemäß Fig. 1 befinden sich die elektrischen Anschlüsse 9 und 10 bei der zweiten Ausführungsform auf zwei gegenüberliegenden Seiten des Leistungswiderstandes 8. Wie aus Fig. 2 zu erkennen ist, kann der Leistungswiderstand 8 beispielsweise aus fünf jeweils mäanderförmigen Teilwiderständen C, D, E, F, G aufgebaut sein, wobei die fünf Teilwiderstände C ... G in mäanderförmiger Art und Weise in Reihe geschaltet sind.

In Fig. 3 ist eine aus Leistungswiderstand und elektrisch nichtleitendem Flüssigkeitskühlkörper bestehende Anordnung dargestellt. Dabei liegt ein Leistungswiderstand 1 der ersten Ausführungsform auf einem Flüssigkeitskühlkörper 11 aus einem elektrisch isolierenden, aber gut wärmeleitenden Werkstoff, vorzugsweise einem keramischen Werkstoff, insbesondere Aluminiumnitrid (AlN). Die elektrischen Anschlüsse 3, 4 des Leistungswiderstandes 1 mit Bohrungen 5, 6 ragen zur Montagevereinfachung über die Außenkante des Flüssigkeitskühlkörpers 11. Der quaderförmige Flüssigkeitskühlkörper 11 weist an zwei gegenüberliegenden Schmalseiten Anschlußstutzen 12, 13 für den Ein- und Austritt von Kühlflüssigkeit auf. Als Kühlflüssigkeit kann beispielsweise nicht entionisiertes, also elektrisch leitfähiges Wasser verwendet werden, dem gegebenenfalls ein Frostschutzmittel beigemischt ist.

Die in Fig. 3 dargestellte Anordnung wird ergänzt durch einen zweiten, nicht dargestellten Flüssigkeitskühlkörper gleicher Art bzw. gegebenenfalls eine nicht dargestellte Druckplatte aus einem elektrisch isolierenden Werkstoff, mit dem bzw. der der Leistungswiderstand 1 abgedeckt wird und über den bzw. die eine Druckkraft auf den Leistungswiderstand 1 aufgebracht werden kann, um einen guten Wärmeübergang zwischen Leistungswiderstand 1 und Kühlkörper 11 zu gewährleisten. Zweckmäßigerweise wird zusätzliche eine Wärmeleitpaste zwischen Leistungswiderstand 1 und Flüssigkeitskühlkörper 11 eingebracht.

In Fig. 4 ist ein bei der Anordnung nach Fig. 3 verwendeter Flüssigkeitskühlkörper im Schnitt dargestellt. Der Flüssigkeitskühlkörper 11 weist einen inneren Kühlkanal 14 auf, der sich im Inneren des Kühlkörpers an einem Ende 15 Y-förmig in zwei parallel liegende interne Kanäle aufspaltet, die jeweils S-förmig das Innere des Kühlkörpers 14 durchlaufen und sich am weiteren Ende 16 T-förmig vereinen. Das Ende 15 führt zum Anschlußstutzen 12, während das weitere Ende 16 mit dem Anschlußstutzen 13 verbunden ist.

In Fig. 5 ist eine aus Leistungswiderstand und elektrisch leitenden Flüssigkeitskühlkörpern bestehende Anordnung dargestellt. Es ist ein Leistungswiderstand 1 mit elektrischen Anschlüssen 3, 4 gemäß der ersten Ausführungsform zu erkennen, der zwischen zwei elektrisch leitenden Flüssigkeitskühlkörpern 17, 18 eingespannt ist. Zur elektrischen Isolation sind Zwischenlagen 19, 20 zwischen Flüssigkeitskühlkörper 17 und Leistungswiderstand 1 bzw. zwischen Leistungswiderstand 1 und Flüssigkeitskühlkörper 18 vorgesehen. Die Zwischenlagen 19, 20 bestehen aus einem gut wärmeleitenden, aber

elektrisch isolierenden Werkstoff. Die zum Eintritt und Austritt der Kühlflüssigkeit notwendigen Anschlußstutzen der Flüssigkeitskühlkörper 17, 18 sind mit Ziffern 21, 22, 23, 24 bezeichnet. Zur verbesserten Wärmeableitung wird zusätzlich Wärmeleitpaste zwischen Leistungswiderstand 1, Zwischenlagen 19, 20 und Flüssigkeitskühlkörpern 17, 18 eingebracht.

In Fig. 6 ist ein aus Halbleiterzellen, Leistungswiderständen und Flüssigkeitskühlkörpern bestehender Spannverband dargestellt. Es ist ein zwischen zwei nichtleitenden Flüssigkeitskühlkörpern 111, 112 angeordneter Leistungswiderstand 1 mit elektrischen Anschlüssen 3, 4 gemäß der ersten Ausführungsform zu erkennen. Zwischen dem Flüssigkeitskühlkörper 112 und einem weiteren, elektrisch nichtleitenden Flüssigkeitskühlkörper 113 befindet sich eine scheibenförmige Halbleiterzelle 25 mit zwei Anschlußblaschen 26, 27 für den elektrischen Anschluß. Die Anschlußblaschen 26, 27 bestehen aus einem metallischen Werkstoff, vorzugsweise aus Kupfer. Die für den Ein- und Austritt der Kühlflüssigkeit erforderlichen Anschlußstutzen der Flüssigkeitskühlkörper 111 bzw. 112 bzw. 113 sind mit Ziffern 121, 131 bzw. 122, 132 bzw. 123, 133 bezeichnet.

Zur Druckbelastung bzw. Verspannung dient eine aus Spannstäben 28, 29, Druckplatten 30, 31 und Spannmuttern 32, 33, 34, 35 bestehende Spannvorrichtung, wobei vorauszusetzen ist, daß weitere, nicht dargestellte Halbleiterzellen, Leistungswiderstände und Flüssigkeitskühlkörper zu einer Säule gestapelt sind. Die Spannstäbe 28, 29 können durch geeignete Bohrungen oder Öffnungen in den Flüssigkeitskühlkörpern geführt sein, wodurch sich vorteilhaft eine exakte Ausrichtung der einzuspannenden Säule ergibt. Zweckmäßig sind nicht dargestellte Federelemente, z. B. Tellerfedern, in der Spannvorrichtung bzw. der zu spannenden Säule enthalten, um thermische Ausgleichsvorgänge während des Betriebes zu ermöglichen. Zur verbesserten Wärmeleitung wird zusätzlich Wärmeleitpaste zwischen Leistungswiderständen, Flüssigkeitskühlkörpern und Halbleiterzellen eingebracht.

Die vorstehend beschriebene gemeinsame Anordnung von Halbleiterzellen und Leistungswiderständen in einem einzigen Spannverband ist besonders vorteilhaft im Sinne einer Bauvolumenreduzierung, da die Teile der Spannvorrichtung, wie z. B. Druckfedern und Druckplatten, nur einmal ausgeführt und im Gerät untergebracht werden müssen.

Der Einsatz der vorstehend beschriebenen Leistungswiderstände erfolgt beispielsweise in Stromrichtergeräten für Fahrzeuge, insbesondere auch Schienenfahrzeuge. Während des Betriebes des Leistungswiderstandes wird die dabei produzierte Verlustwärme an die Kühlflüssigkeit des eingesetzten Flüssigkeitskühlkörpers 111, 112, 113, 11, 17, 18 abgeführt. Dieser an die Kühlflüssigkeit übertragene Wärmestrom wird in einem räumlich getrennt an beliebiger Stelle auf dem Fahrzeug angeordneten Wärmeübertrager an die Umgebungsluft abgeführt.

Patentansprüche

1. Anordnung mit zwangsgekühltem, elektrischem Leistungswiderstand, bei der die Verlustleistung mittels Siede- oder Flüssigkeitskühlung abführbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Leistungswiderstand (1, 8) aus einem flachen, ebenen, metallischen Widerstandselement (2) mit mindestens zwei elektrischen Anschlüssen (3, 4, 9, 10) besteht, wobei

das Widerstandselement (2) aus einem blechförmigen Werkstoff mit einem hohen spezifischen elektrischen Widerstand gebildet ist, und daß der Leistungswiderstand (1, 8) direkt mit mindestens einem elektrisch nichtleitenden, jedoch gut wärmeleitenden Flüssigkeitskühlkörper (11, 111, 112, 113) druckkontaktiert ist.

2. Anordnung mit zwangsgeköhltem, elektrischem Leistungswiderstand, bei der die Verlustleistung mittels Siede- oder Flüssigkeitskühlung abführbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Leistungswiderstand (1, 8) aus einem flachen, ebenen, metallischen Widerstandselement (2) mit mindestens zwei elektrischen Anschlüssen (3, 4, 9, 10) besteht, wobei das Widerstandselement (2) aus einem blechförmigen Werkstoff mit einem hohen spezifischen elektrischen Widerstand gebildet ist, und daß der Leistungswiderstand (1, 8) über eine elektrisch isolierende, jedoch gut wärmeleitenden Zwischenlage (19, 20) mit mindestens einem elektrisch leitenden Flüssigkeitskühlkörper (17, 18) druckkontaktiert ist.

3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Widerstandselement (2) durch zahlreiche seitliche Aussparungen (7) eine mäanderförmige Struktur aufweist.

4. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Widerstandselement (2) aus mindestens zwei in Reihe geschalteten, jeweils mäanderförmigen Teilwiderständen (A, B) besteht und sich die elektrischen Anschlüsse (3, 4) auf derselben Seite befinden.

5. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Widerstandselement (2) aus mindestens drei in Reihe geschalteten, jeweils mäanderförmigen Teilwiderständen (C, D, E, F, G) besteht und sich die elektrischen Anschlüsse (9, 10) auf gegenüberliegenden Seiten befinden.

6. Anordnung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Widerstandselement (2) aus einer Widerstandslegierung besteht.

7. Anordnung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Widerstandselement (2) aus einem Edelstahl besteht.

8. Anordnung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrischen Anschlüsse (3, 4, 9, 10) jeweils mit Bohrungen (5, 6) für den Schraubanschluß mit externen Leitungen oder Schienen versehen ist.

9. Anordnung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Leistungswiderstand (1, 8) zur einseitigen Kühlung zwischen einer elektrisch isolierenden Druckplatte und einem Flüssigkeitskühlkörper eingespannt ist.

10. Anordnung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Leistungswiderstand (1, 8) zur doppelseitigen Kühlung zwischen zwei Flüssigkeitskühlkörpern eingespannt ist.

11. Anordnung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Leistungswiderstand mit mindestens einem Flüssigkeitskühlkörper in einem gemeinsamen Spannverband mit Spannstäben (28, 29), Druckplatten (30, 31) und Spannmuttern (32, 33, 34, 35) angeordnet sind.

12. Anordnung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß minde-

stens ein Leistungswiderstand, mindestens eine scheibenförmige Halbleiterzelle (25) und mindestens ein Flüssigkeitskühlkörper in einem gemeinsamen Spannverband mit Spannstäben (28, 29), Druckplatten (30, 31) und Spannmuttern (32, 33, 34, 35) angeordnet sind.

13. Anordnung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß Wärmeleitpaste zwischen Leistungswiderstand und Kühlkörper bzw. Zwischenlage eingebracht ist.

14. Verfahren zur Herstellung eines elektrischen Leistungswiderstandes nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Widerstandselement (2) aus einem blechförmigen Werkstoff ausgestanzt wird.

15. Verfahren zur Herstellung eines elektrischen Leistungswiderstandes nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Widerstandselement (2) aus einem blechförmigen Werkstoff mittels Laserstrahl herausgeschnitten wird.

16. Verfahren zur Herstellung eines elektrischen Leistungswiderstandes nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Widerstandselement (2) aus einem blechförmigen Werkstoff herausgeätzt wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1

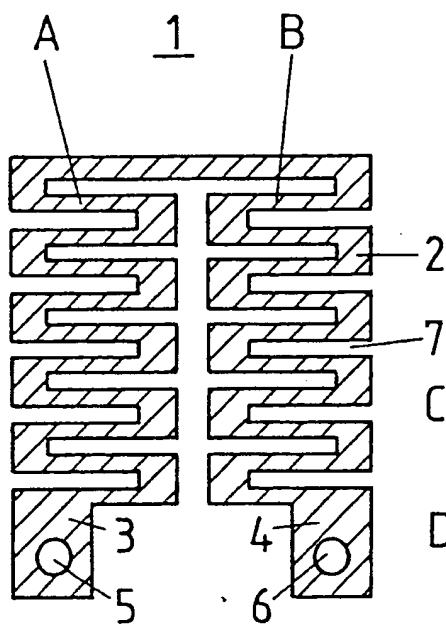
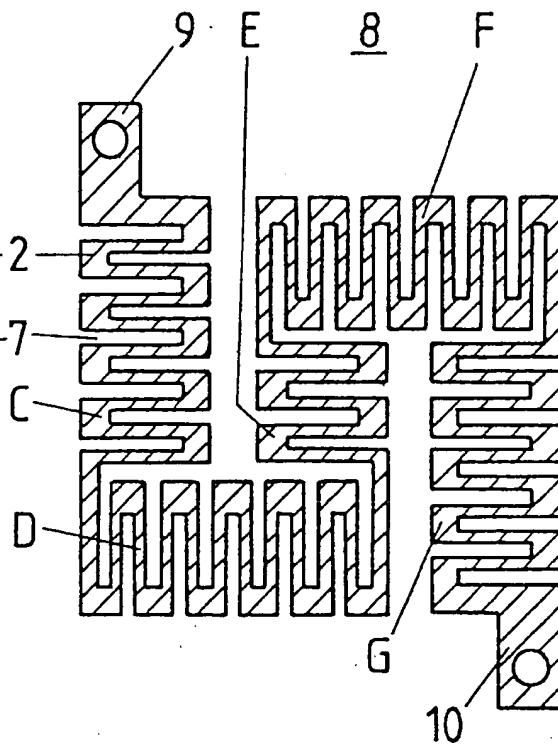


Fig. 2



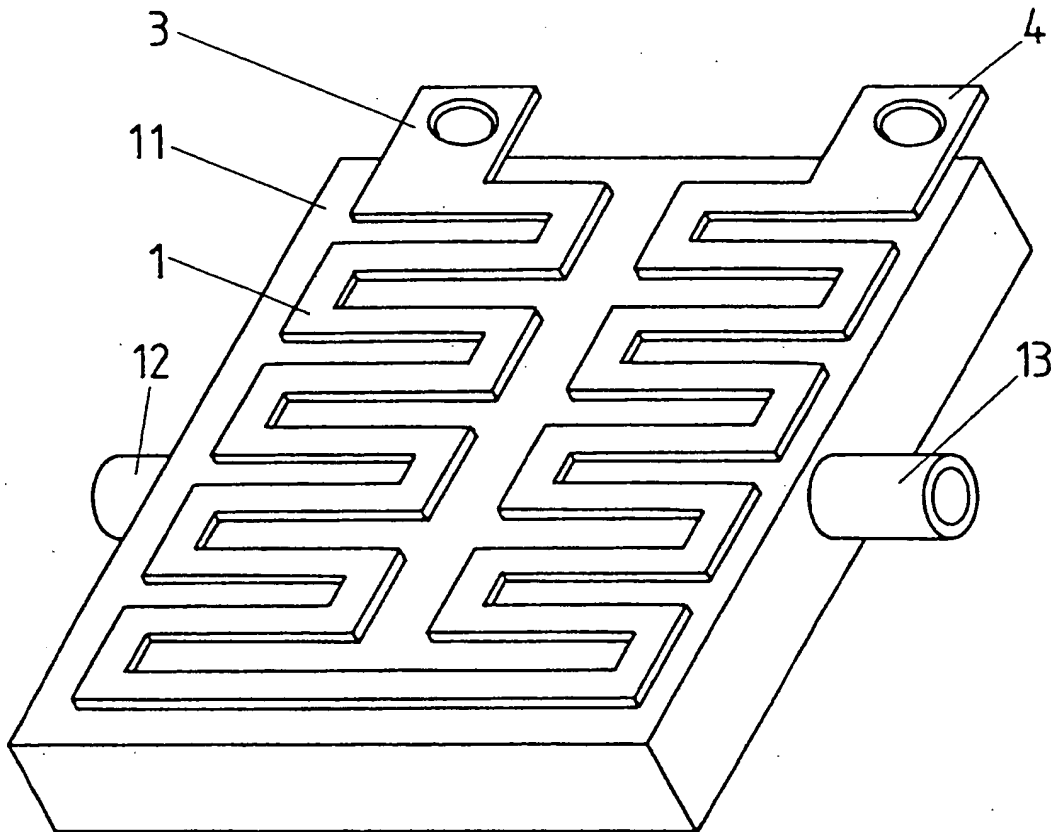


Fig. 3

Fig. 4

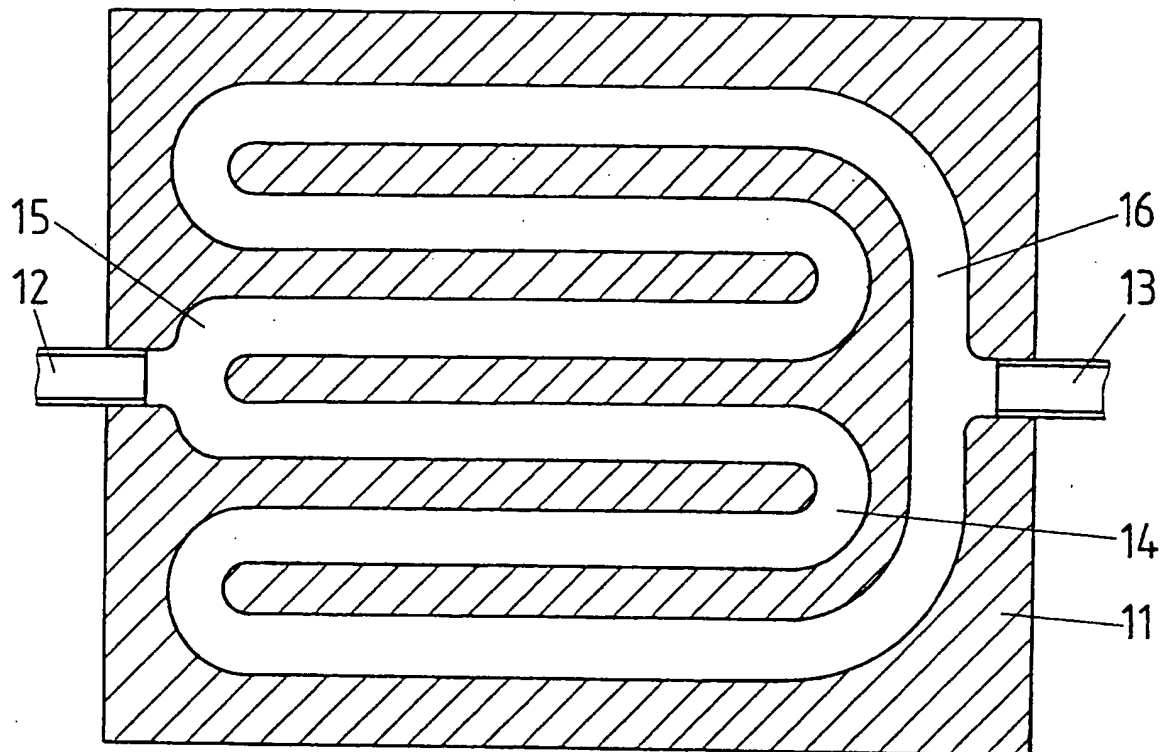


Fig. 5

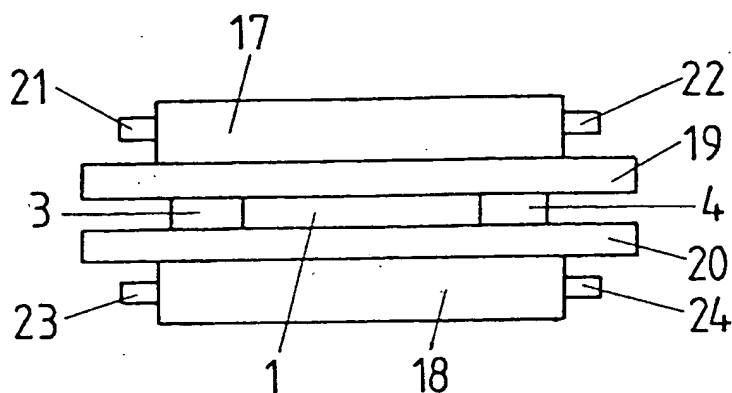


Fig. 6

